

Capitolo 3 Componenti dell'impianto

In questo capitolo saranno descritti i vari componenti che andranno a costituire l'impianto di approvvigionamento del perossido d'idrogeno per i motori che saranno sperimentati.

La maggioranza degli elementi descritti in questo capitolo trovano posizione all'interno della struttura che ospita l'impianto di approvvigionamento; esterni, rimangono solo i manometri e le valvole a sfera ad azionamento manuale per le linee di azoto.

3.1 Il serbatoio

Il serbatoio, da quanto visto nei capitoli precedenti, deve soddisfare delle caratteristiche particolari. Queste in sintesi sono:

- capacità di 3 litri
- resistenza a pressioni elevate
- resistenza a elementi altamente corrosivi

Per quanto riguarda il primo requisito è stato valutato nel capitolo 2.2.2 che la quantità sufficiente di perossido d'idrogeno da stoccare all'interno del serbatoio per lo svolgimento delle prove è di circa 3 litri. Questa non è una quantità sufficiente allo svolgimento degli esperimenti nella loro totalità ma è quella che ottimizza le esigenze d'utilizzo e d'ingombro.

Il serbatoio sarà pressurizzato per consentire al propellente di fluire nelle linee e di essere iniettato in camera di combustione. Il range di pressione che il serbatoio deve essere in grado di supportare va da 12 a 20 bar.

Il terzo requisito riguarda la compatibilità dei materiali col perossido di idrogeno. L' H_2O_2 , in concentrazione dell'87,5%, è fortemente corrosiva e reattiva con molti materiali. Per questo motivo il serbatoio deve essere rivestito o costruito di un materiale perfettamente compatibile con il perossido d'idrogeno e tale rivestimento deve essere perfettamente omogeneo, integro e non presentare impurità al fine di garantire la massima sicurezza e la massima compatibilità. Anche una piccola impurità potrebbe innescare la decomposizione incontrollata del perossido

di idrogeno arrivando a compromettere l'integrità della struttura e la sicurezza per gli addetti all'utilizzo dell'impianto.

Tenendo conto di questi tre fondamentali requisiti si è scelto di utilizzare come corpo centrale del serbatoio un tubo in acciaio inox AISI 304L rivestito internamente di PTFE (Teflon, materiale altamente compatibile con il perossido di idrogeno).

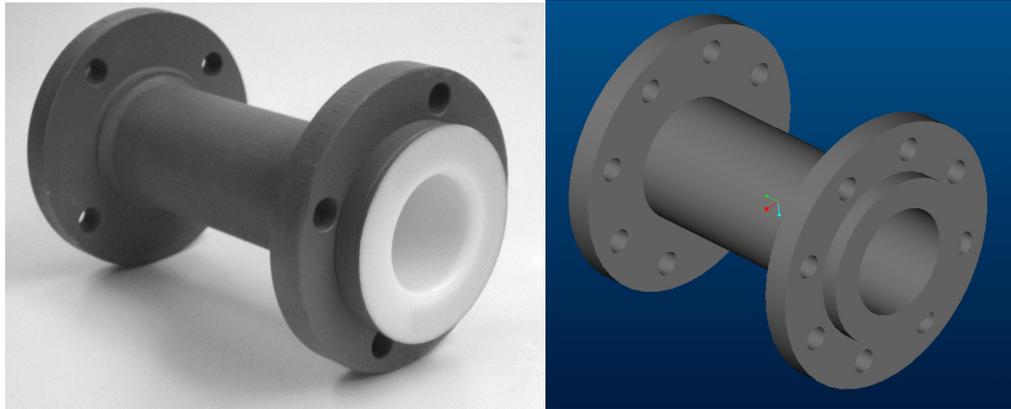


Figura 3.1 A sinistra tubo 304L rivestito in PTFE, a destra lo stesso tubo disegnato in ProE

Il tubo è lungo 300 mm con DN 4'' ed è capace di sopportare una pressione limite di 40 bar. Il suo rivestimento lo rende compatibile allo stoccaggio del perossido d'idrogeno all'87,5%. Alle sue estremità vi sono due flange utili per il montaggio.

A costituire il serbatoio non sarà solo il tubo ma anche altri elementi. Questi sono:

- 1 presa strumenti
- 2 flange di riduzione
- 1 croce
- 1 T
- 1 flangia cieca

3.1.1 Presa strumenti

La presa strumenti è in acciaio inox AISI 304 rivestito in PFA, materiale anch'esso compatibile col perossido di idrogeno ad elevate concentrazioni. Questo componente è destinato ad ospitare una termocoppia utilizzata per monitorare la temperatura interna al serbatoio. Alla sua estremità vi è una flangia alla quale viene fissata la termocoppia. Anche la presa per strumenti è in grado di resistere a 40 bar di pressione.

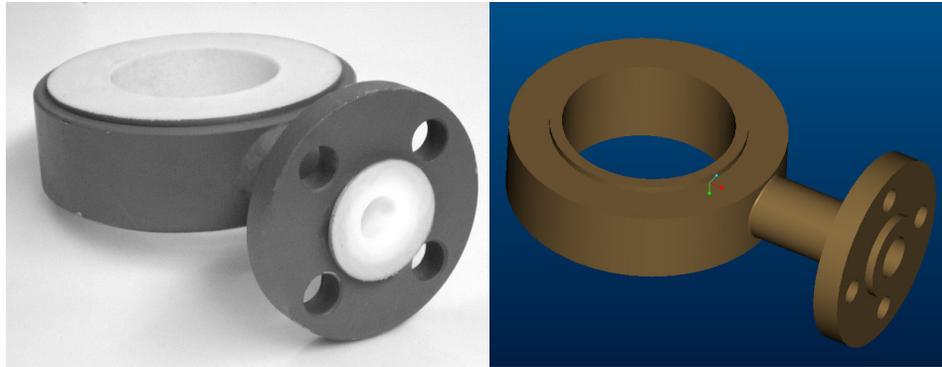


Figura 3.2 A sinistra presa per strumenti, a destra presa per strumenti disegnata in ProE

3.1.2 Flange di riduzione

Per poter passare da DN 4'' a DN 1/2'' si utilizzano due flange di riduzione. Queste due flange, identiche tra loro, sono in acciaio AISI 304L e rivestite anch'esse in PFA. Questo le rende adatte a pressioni fino a 40 bar e compatibili col perossido d'idrogeno.

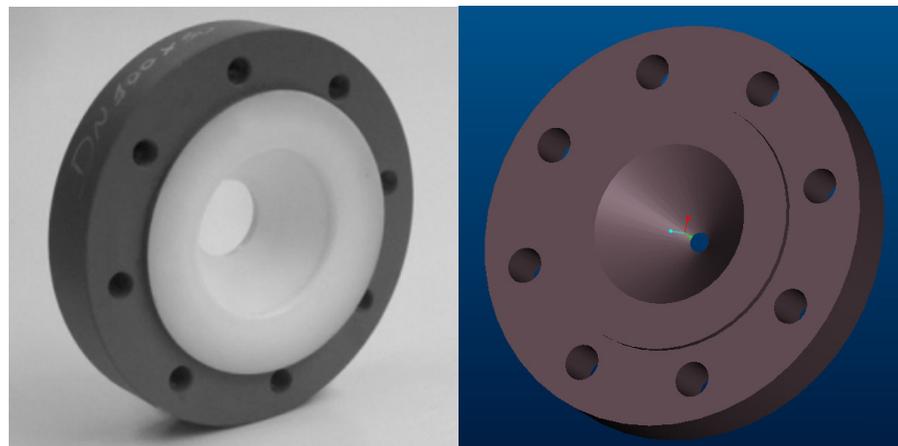


Figura 3.3 A sinistra flangia di riduzione, a destra flangia di riduzione in ProE

3.1.3 Croce e T

Per poter collegare il serbatoio al resto dell'impianto vengono utilizzate una croce ed una T DN 1/2'' in acciaio inox AISI 304L rivestite in PFA anch'esse capaci di sopportare fino a 40 bar di pressione. Sia la croce che la T alle loro estremità hanno flange ANSI 300 che ne consentono il collegamento alla linea di alimentazione del motore ed alle linee di sicurezza e pressurizzazione.

Nelle figure 3.4 e 3.5 vengono mostrati questi due particolari e una loro rappresentazione in ProE.

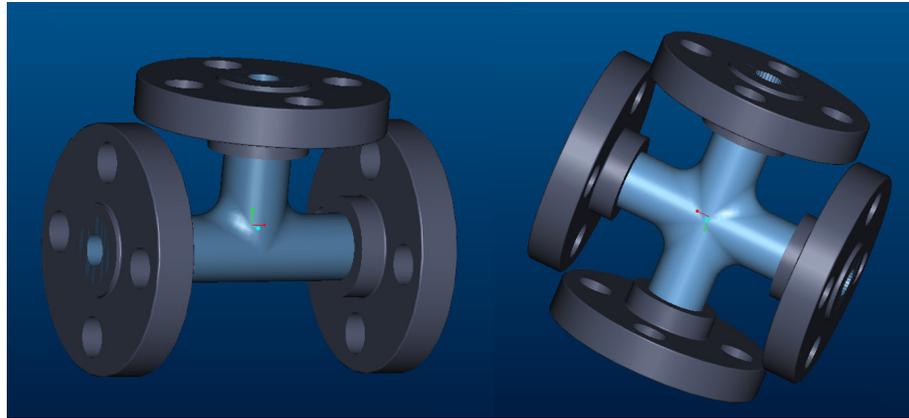


Figura 3.4 Disegni in ProE. A sinistra T flangiato, a destra croce flangiata

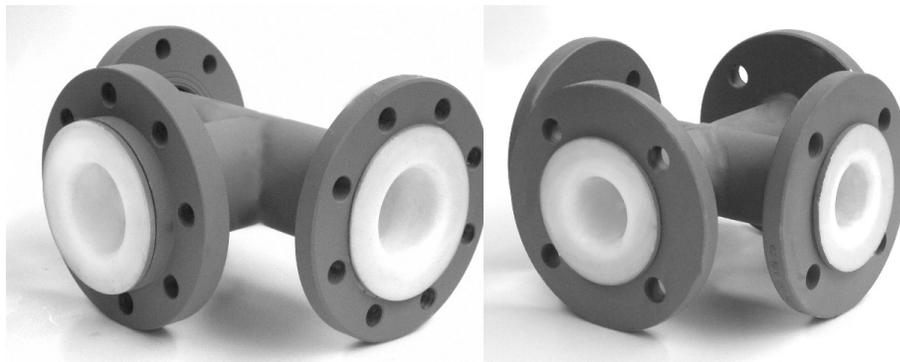


Figura 3.5 A sinistra T flangiato, a destra croce flangiata

3.1.4 Flangia cieca

La flangia cieca altro non è che una flangia ANSI 300 che funge da tappo per il serbatoio. Essa viene serrata ad una delle estremità della croce e deve essere smontata e serrata ogni qualvolta si verifichi l'esigenza di riempire il serbatoio.

La flangia cieca è costruita in acciaio inox AISI 304L e rivestita, nell'estremità che andrà a contatto con la croce, di PFA. Tale rivestimento rappresenta anche l'elemento di tenuta tra la flangia e la croce.

In figura 3.6 sono esposte una foto ed una realizzazione in ProE.

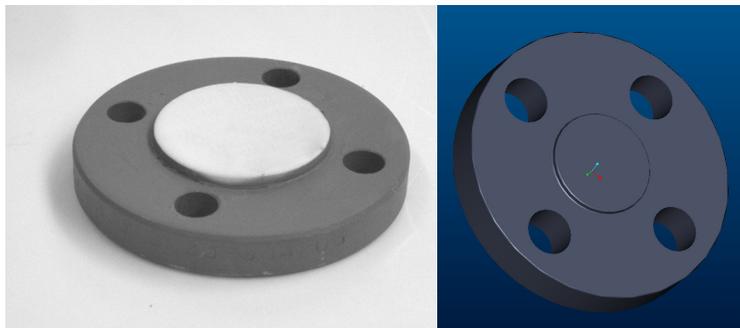


Figura 3.6 A sinistra flangia cieca, a destra flangia cieca in ProE

3.2 Condotti e raccordi

Per le tubazioni si deve distinguere tra la linea del perossido d'idrogeno e quella per l'azoto (si veda capitolo 2.3). Avendo caratteristiche ed esigenze diverse, le due linee montano tubazioni che differiscono tra loro nel sistema di collegamento, nel materiale e nei costi.

3.2.1 Linea H₂O₂

Per la linea del perossido d'idrogeno sono stati scelti componenti in acciaio inox di ottima qualità della ditta Swagelok. Caratteristica peculiare dei condotti scelti è il tipo di collegamento tra di essi, il VCR. Questo collegamento permette una perfetta tenuta tra i due elementi collegati; essa viene realizzata portando a compressione i due codoli tra cui viene interposto un elemento di tenuta frontale. Questo è messo in evidenza nella figura 3.7.

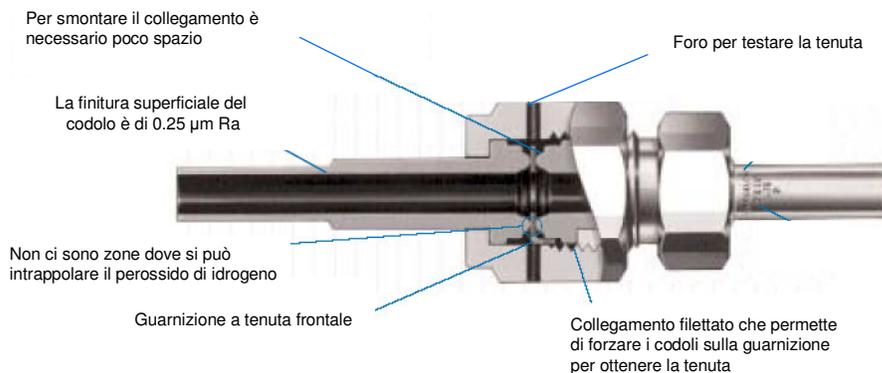


Figura 3.7 Raccordo a tenuta frontale VCR

Tale tipologia di raccordo evita il problema di infiltrazioni di perossido d'idrogeno nelle filettature di un eventuale collegamento filettato. L'H₂O₂, infiltrandosi tra i filetti, potrebbe decomporsi causando delle sovrappressioni che metterebbero a rischio la tenuta del collegamento.

Riguardo alle esigenze di sicurezza vi sono due fori che rendono visibile dall'esterno la guarnizione di tenuta in modo tale da rendere evidenti eventuali spillamenti di liquido verso l'esterno.

Le guarnizioni sono anch'esse in acciaio. L'assemblaggio del collegamento avviene tramite un maschio ed una femmina filettati che hanno la funzione di comprimere le due estremità dei codoli sulla guarnizione di tenuta. La procedura da seguire richiede una certa attenzione nonostante la sua semplicità in quanto si deve evitare la rottura o la mancata compressione della guarnizione. Qui di seguito viene riassunta la procedura per montare i collegamenti VCR.

- Inserire la guarnizione nel VCR con la femmina filettata
- Inserire il componente con il maschio filettato e stringere a mano senza forzare

- Stringere con forza con l'ausilio di chiavi inglesi ruotando di ¼ di giro
- Verificare dalle fessure se la guarnizione è in posizione corretta

Sono stati impiegati anche dei tubi flessibili di varie lunghezze (8",26",122") e diametro da ¼", costruiti in acciaio inossidabile e rivestiti internamente di PTFE. Anch'essi sono prodotti dalla Swagelok e presentano il raccordo VCR. Resistono fino ad una pressione massima di esercizio di 206 bar.

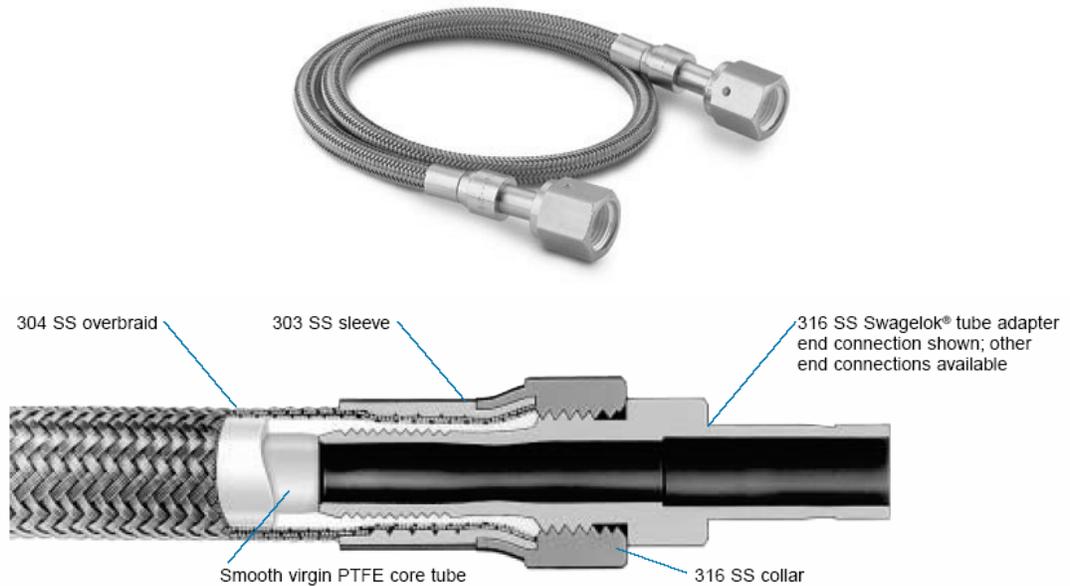


Figura 3.8 Tubi flessibili VCR rivestiti in PTFE

Nella linea del perossido d'idrogeno si trovano elementi da ¼" ed elementi flangiati ANSI 300 ½". Per la connessione tra questi elementi è stato pensato di saldare gli opportuni collegamenti VCR a delle flange ANSI 300 tramite saldature orbitali eseguite dalla ditta TGE. Nel collegamento viene utilizzato un adattatore VCR ½ - VCR ¼.

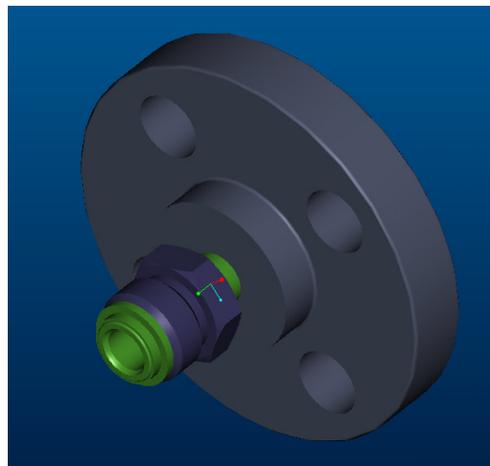


Figura 3.9 Flangia codolo saldati

Nella figura 3.9 si possono notare i tre elementi che costituiscono questo collegamento: la flangia, il codolo saldato (in verde) sulla flangia e il maschio filettato che serve a comprimere il VCR (in blu).

A conclusione di questo paragrafo viene riportato, in figura 3.10, il disegno in ProE di un collegamento VCR smontato e in seguito serrato.

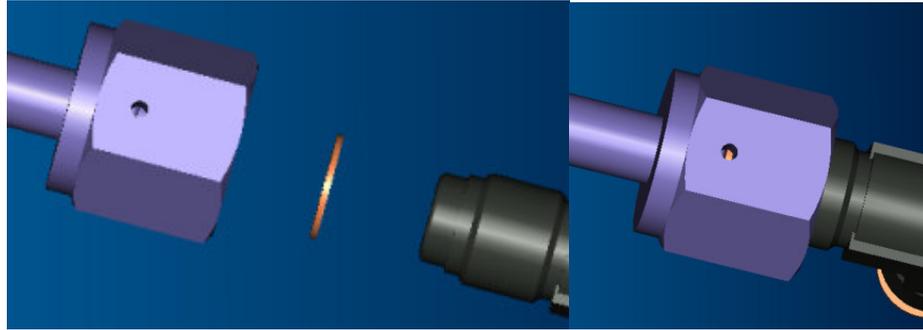


Figura 3.10 A sinistra VCR smontato, a destra VCR serrato

3.2.2 Linea azoto

La linea d'azoto ha la triplice funzione di pressurizzare il serbatoio, di attuare le valvole e di pulire le linee dell' H_2O_2 . La linea di pressurizzazione del serbatoio è ad alta pressione (dai 15 ai 20 bar) mentre per la linea di attuazione e la linea di pulizia non si supereranno i 7-8 bar (si veda capitolo 2.3.2).

L'alimentazione di azoto è fornita da una bombola in acciaio contenente il gas alla pressione di 240 bar. Per questo motivo ci sono dei regolatori di pressione (capitolo 3.3) e dei rubinetti a garantire le giuste pressioni di approvvigionamento per ogni utilizzo.

Per la linea d'azoto non si presentano i problemi di corrosione e di compatibilità che si hanno con il perossido d'idrogeno. Come collegamenti sono state scelte connessioni filettate NPT. Vengono utilizzati sia tubi rigidi in acciaio inossidabile sia tubazioni flessibili multiuso. Queste ultime sono realizzate in gomma sintetica BUNA N e sono state utilizzate per le linee a bassa pressione come quelle di ripulitura e di attuazione e possono sopportare pressioni fino a 24.1 bar. Per la linea di pressurizzazione del serbatoio viene utilizzato invece un tubo flessibile in acciaio inox resistente fino a pressioni di 213 bar.



Figura 3.11 Tubo flessibile per le linee a bassa pressione dell'azoto

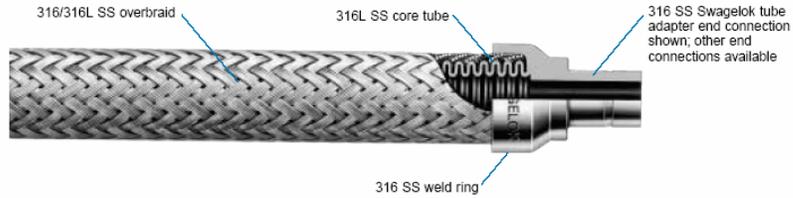


Figura 3.12 Tubo in acciaio per la linea ad altra pressione dell'azoto

3.3 Regolatori di pressione e manometri

Per il controllo della pressione nelle linee di passaggio dell'azoto sono stati scelti manometri e regolatori della ditta TESCOM.

I regolatori di pressioni resistono ad una pressione d'ingresso di 241 bar e permettono di regolare la pressione in uscita a livelli che vanno da 0.3 bar a 41 bar. Hanno il corpo in ottone e funzionano tramite una manopola di regolazione che agisce su un pistone in AISI 316 tenuto da una molla. Il sistema di funzionamento è riassunto in figura 3.13.

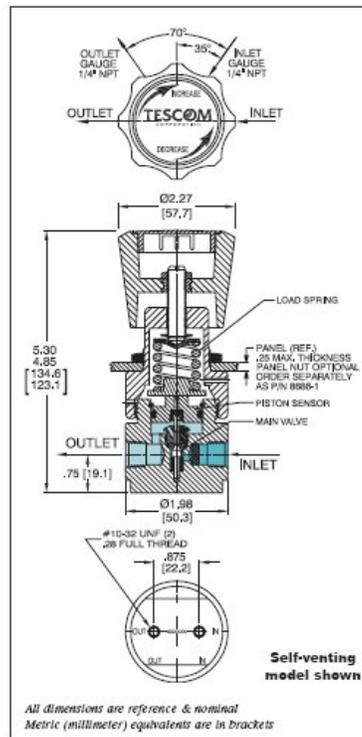


Figura 3.13 Schema del regolatore di pressione

I manometri sono analogici e misurano un range di pressioni da 0.1 bar a 70 bar. Il loro attacco è da ¼ NPTM. Il regolatore di pressione ha sia ingressi che uscite NPT femmina.



Figura 3.14 Manometri

3.4 Disco a rottura

Il disco a rottura rappresenta uno dei tre dispositivi di sicurezza previsti nel caso di decomposizione incontrollata del perossido di idrogeno stoccato nel serbatoio (si veda paragrafo 2.3.1).

Il disco è stato acquistato presso la ditta Schlesinger ed è tarato per rompersi al superamento della pressione di 38 bar. Questo dispositivo si sostituisce semplicemente alla guarnizione di tenuta della connessione VCR (si veda paragrafo 3.2.1). Per questo motivo è stato preso un disco a rottura della misura da 1/4" compatibile VCR.



Figura 3.15 Disco a rottura

3.5 Filtri

Per garantire il mantenimento di un elevato grado di pulizia all'interno della linea dell' H_2O_2 , sono stati inseriti dei filtri per filtrare l'azoto utilizzato per la pressurizzazione del serbatoio e la pulizia delle linee.

Essi sono filtri inseriti lungo le suddette linee ed aventi maglia in grado di filtrare particelle con dimensione superiore ai 5 μm . La connessione con i tubi flessibili e le flangie con codolo (paragrafo 3.2.1) avviene tramite collegamento NPT femmina da 1/4".



Figura 3.16 Filtri Ham-Let

3.6 Valvola di sparo

La valvola di sparo è posizionata a monte del motore e permette al propellente di entrare o meno all'interno del motore.

La scelta è caduta sulla valvola solenooidale modello 20033 prodotta da ERA-SIB. Questa valvola, realizzata in acciaio inossidabile, è capace di resistere a temperature del fluido che vi scorre di 100° C e a 100 bar di pressione. Il materiale di tenuta è gomma FKM (gomma fluorocarbonica Viton®) compatibile con il perossido d'idrogeno e sono valvole molto rapide con un tempo di risposta inferiore ai 20 ms.

La connessione è NPT da ¼" e viene alimentata in tensione continua a 12 V.



Figura 3.17 Valvola di sparo ERA-SIB

3.7 Valvole a sfera

Le valvole sono utilizzate per il controllo delle linee del perossido d'idrogeno e dell'azoto.

Per l'azoto, in prossimità della bombola e dei regolatori di pressione, la scelta è caduta su valvole a sfera a funzionamento manuale. Queste sono dei semplici rubinetti che vengono manipolati dall'utente. Hanno connessione da ¼" NPT e sono stati scelti in modo da resistere alla pressione di esercizio della linea che regolano (resistenza 20 bar per le linee a bassa pressione, 45 bar per quella ad alta pressione).

Le valvole che controllano il passaggio del perossido d'idrogeno e la pressurizzazione delle linee devono soddisfare dei requisiti particolari.

Per prima cosa i materiali che vengono bagnati dall' H_2O_2 devono essere perfettamente compatibili con esso. Inoltre le valvole non devono essere lubrificate e non devono avere zone in cui potrebbe rimanere intrappolato il perossido d'idrogeno.

Nelle valvole a sfera, per via del loro meccanismo di funzionamento, nel passaggio da aperto a chiuso si può avere l'intrappolamento di H_2O_2 nella sfera della valvola stessa. Le valvole scelte hanno il foro di sfiato per evitare sovrappressioni dovute alla decomposizione del perossido di idrogeno rimasto intrappolato in zone chiuse. Questo canale, nella situazione di valvola chiusa, deve comunicare con il lato che si trova a pressione più alta.

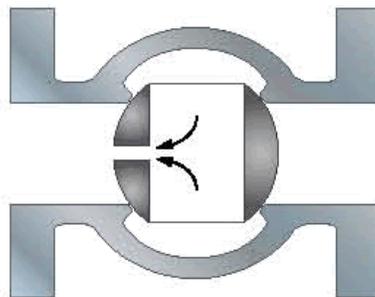


Figura 3.18 Foro di sfiato nella valvola a sfera

Le valvole scelte per l'impianto sono prodotte dalla Swagelok e dalla Conbraco. Entrambe soddisfano i requisiti di cui sopra compreso il foro di sfiato per il perossido di idrogeno eventualmente intrappolato nella sfera.

Le valvole a sfera Swagelok sono costruite in acciaio inossidabile, hanno connessione da ¼" VCR e sono attuate elettropneumaticamente e sono dotate di conseguenza di un attuatore. L'alimentazione elettrica è di 12 V in continua e la pressione di attuazione può essere compresa tra i 3 ed i 5 bar. Queste valvole sono tre ed hanno destinazione nel controllo degli scarichi delle linee di H_2O_2 . Esse sono valvole normalmente aperte; in questo modo in caso di interruzione accidentale dell'alimentazione, lo scarico è sempre assicurato.

Nella figura 3.19 è mostrata la valvola Swagelok completa del suo attuatore elettropneumatico a solenoide.

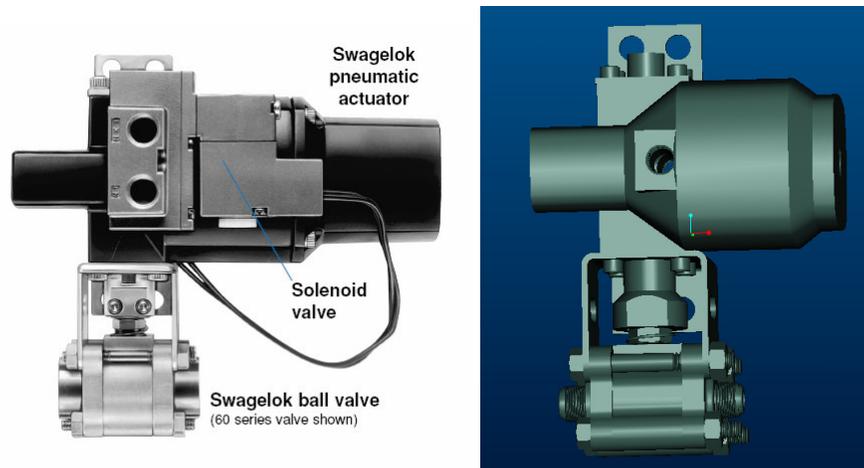


Figura 3.19 Valvola a sfera Swagelok. A sinistra dal catalogo Swagelok, a destra disegno in ProE

Le altre valvole a sfera utilizzate sulla linea del perossido di idrogeno sono quelle prodotte dalla ditta Conbraco. Esse sono in acciaio inossidabile 316L. Sono DN 1/2" e sono interfacciate con il circuito tramite flange ANSI 300 e guarnizione in PTFE dove vi è contatto con il propellente.

Esse sono costituite da un corpo valvola e da un attuatore elettropneumatico a solenoide. La tensione di alimentazione è 12 V in continua.

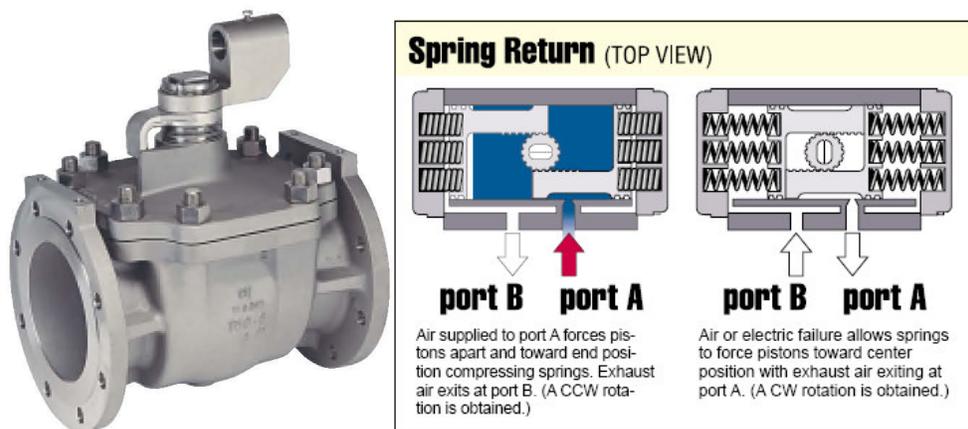


Figura 3.20 A sinistra valvola Conbraco, a destra schema di funzionamento attuatore

L'attuatore è a singola azione. Con questo si intende che, immessa pressione in esso, si ha il movimento in apertura della valvola. Togliendo la pressione la valvola torna automaticamente alla posizione di chiusura tramite delle molle all'interno del dispositivo di attuazione. L'attuatore presenta tre fori per la pressione, quello centrale è di pressurizzazione mentre gli altri due sono i fori di sfiato. Esse sono valvole normalmente chiuse.

Le valvole a sfera della Conbraco sono cinque di cui quattro trovano posizione attorno al serbatoio per pressurizzazione, spurghi e approvvigionamento linea di alimentazione del motore, mentre la quinta è adibita a consentire la pressurizzazione per la pulizia delle linee (si veda capitolo 2.3).

3.8 Venturi cavitante

Questo dispositivo ha la funzione di mantenere costante la portata in ingresso al motore indipendentemente dalla pressione che si crea in camera di combustione nel motore stesso. La pressione di progetto è di 16.4 bar e i diametri di gola dei due venturi sono di 263 μm e 588 μm .

La ditta incaricata nella realizzazione dei due venturi cavitanti è la FLOWMAXX. Tale realizzazione è stata effettuata partendo da flange piene ANSI 300 nelle quali sono state riprodotte le forme dei venturi per il motore da 5 N e per quello da 25 N.

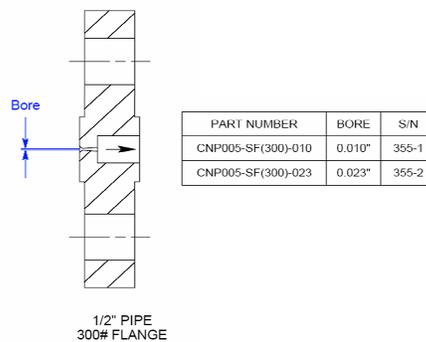


Figura 3.21 Venturi cavitante

3.9 Valvole di sfiato e di non ritorno

Per la linea del perossido d'idrogeno sono state utilizzate due tipologie di valvole di non ritorno secondo che venissero usate per impedire ritorni di H_2O_2 nel circuito o come valvole di sfiato.

Come valvola di non ritorno vera e propria è stata utilizzata una valvola completamente saldata prodotta dalla Swagelok con tenuta realizzata in fluorocarbonio. La connessione è del tipo VCR da 1/4".



Figura 3.22 Valvola di non ritorno completamente saldata

Per gli sfiati sono state utilizzate delle valvole di non ritorno calibrabili sempre prodotte dalla Swagelok. Queste hanno un dispositivo a molla che consente di regolare la pressione alla quale si devono aprire per permettere al fluido di passare. Per questo motivo è stato pensato di utilizzarle con lo scopo di fare fuoriuscire l'H₂O₂ nel caso nel circuito si abbia il raggiungimento di una pressione troppo elevata. Anche queste valvole montano una connessione VCR da ¼".



Figura 3.23 Valvola di non ritorno regolabile (valvola CA)

Per la linea di azoto sono state impiegate valvole di non ritorno della HAM-LET in acciaio inossidabile. Queste possono lavorare fino ad una pressione di 206 bar e montano connessioni NPTF da ¼".



Figura 3.24 Valvola di non ritorno HAM-LET

3.10 Flussimetro

Per una corretta valutazione delle prestazioni dei prototipi di endoreattore che verranno sperimentati si deve conoscere con precisione la portata di propellente che viene immesso in camera di combustione.

Per valutare la portata viene utilizzato un flussimetro prodotto dalla ditta KROHNE.



Figura 3.25 Flussimetro Optimass 7100

Il flussimetro scelto è l'Optimass 7100 che misura densità, temperatura e portata del fluido che passa in esso. La misurazione viene effettuata sfruttando il principio di Coriolis. Il sistema funziona applicando una vibrazione al tubo e quindi rilevando ed analizzando gli effetti inerziali prodotti dall'interazione tra le vibrazioni e lo scorrimento della massa fluida.

Le parti bagnate sono in acciaio inossidabile AISI 316L e le connessioni sono tramite flange ANSI 300 da 1/2".

L'apparecchiatura è costituita da un corpo in cui passa il fluido (in cui avviene la misurazione) ed una testa che monta un display e alla quale devono essere collegati i cavi di alimentazione e di acquisizione del segnale in remoto. Tramite il display, che presenta tre tasti e tre sensori magnetici a sostituzione dei tasti, si può configurare il flussimetro. Come detto precedentemente è prevista anche la lettura dell'output da remoto tramite una scheda di acquisizione dati. Il flussimetro per funzionare deve essere alimentato in corrente alternata a 220 V.

Nella tabella 3.1 sono riassunte alcune caratteristiche di misura del flussimetro.

Portata nominale:	350 kg/h
Massima portata:	130% della portata nominale
Precisione di misura, liquidi:	+/- 0,1% della portata istantanea misurata + stabilità di zero
Precisione di misura, gas:	+/- 0,5% della portata istantanea misurata + stabilità di zero
Ripetibilità:	migliore dello 0,05% + stabilità di zero
Stabilità di zero:	+/- 0,05% della portata nominale
Densità:	
Intervallo di misura:	500 - 2000 kg/m ³
Precisione:	+/- 2 Kg/m ³

Tabella 3.1 Tabella dati caratteristici del flussimetro

3.11 Termocoppie

Nella sperimentazione dei prototipi di endoreattore risulta indispensabile ottenere i dati sulle temperature registrate nel serbatoio e in uscita dall'ugello del propulsore.

Per questi scopi sono state acquistate delle termocoppie di due tipi differenti: di tipo J per il serbatoio e di tipo K per il motore.

La termocoppia del serbatoio è stata inserita in un pozzetto rivestito di PTFE che si inserisce nella presa strumenti del gruppo serbatoio (paragrafo 3.1.1) e si collega ad essa con un raccordo flangiato. La termocoppia di tipo J è costruita in ferro e costantana (che è una lega di rame e nichel) e sopporta temperature fino ai 540°C (1000°C in assenza di ossigeno).

La termocoppia del serbatoio è utile per monitorare eventuali aumenti abnormi della temperatura del perossido legati ad eventuale decomposizione indesiderata.

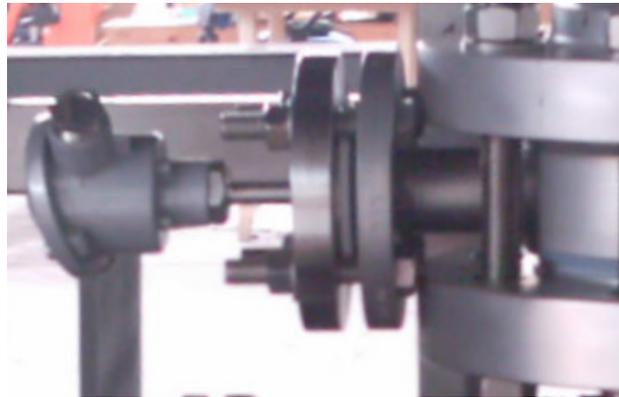


Figura 3.26 Termocoppia serbatoio alloggiata nella sua presa strumenti

Per il motore è stata scelta una termocoppia K. Questo tipo di termocoppie sono adatte ad ambienti altamente ossidanti e vengono utilizzate per temperature anche superiori ai 600°C (1300°C massimi). Sono costruite in Chromel e Alumel. La termocoppia è posizionata subito dopo il letto catalitico con lo scopo di conoscere la temperatura massima raggiunta dalla decomposizione del perossido d'idrogeno.



Figura 3.27 Esempio di termocoppia K

3.12 Trasduttori di pressione

I trasduttori di pressione utilizzati nell'impianto di approvvigionamento sono di due tipi: assoluti e differenziali.

I trasduttori assoluti sono quattro, due prodotti dalla Swagelok e due prodotti dalla Kulite.

I primi fanno parte dell'impianto di approvvigionamento e sono posizionati nella parte superiore del serbatoio ed a valle del venturi cavitante. In questo modo è possibile monitorare la pressione interna del serbatoio e quella a valle del venturi. Questi trasduttori sono provvisti di connessione VCR da 1/4", lavorano nel range da 0 a 40 bar e devono essere alimentati con una tensione di 10 V (figura 3.28).

I due sensori Kulite (model XTM-190M-17 bar A) sono stati scelti per la loro precisione e per le ridotte dimensioni. La pressione operativa massima è di 17 bar mentre la temperatura massima di esercizio è di 175°C. L'errore massimo, sommando non-linearità, isteresi e non-ripetibilità; è dell'1% FS. Questi due sensori trovano posto a monte ed a valle del letto catalitico.

Vengono alimentati con una tensione continua di 5 V.



Figura 3.28 *Trasduttore di pressione assoluto Swagelok. A destra trasduttore di pressione assoluto Kulite*

Il trasduttore differenziale è il modello FP2000 della Honeywell Sensotec e presenta connessione VCR da 1/4". La sua funzione è quella di misurare il salto di pressione tra l'ingresso e l'uscita del venturi cavitante. Questo trasduttore differenziale misura salti di pressione fino a 25 bar e richiede una doppia alimentazione a 24 V in continua.



Figura 3.29 *Trasduttore differenziale*

3.13 Guarnizioni in PTFE

Nei collegamento tramite flange vengono utilizzate delle guarnizioni in PTFE (Teflon).

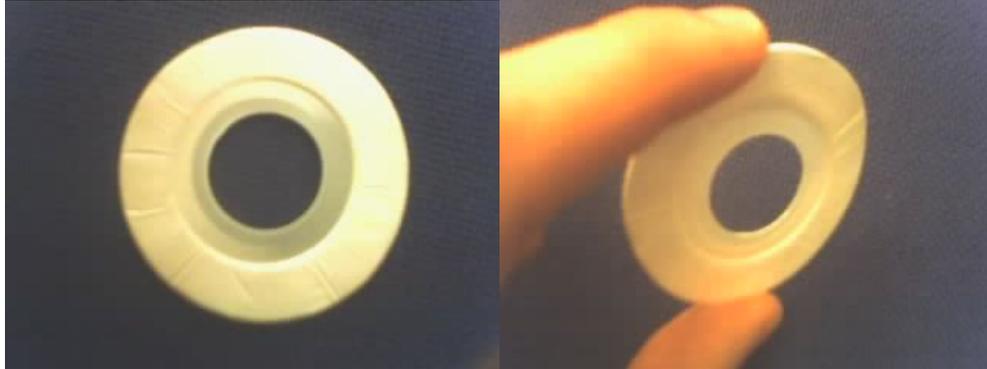


Figura 3.30 Guarnizione in PTFE per collegamenti flangiati

Una volta utilizzate rimangono visibilmente deformate (come visibile nelle figure qui sopra) e non possono essere riutilizzate.

3.14 Celle di carico

Per la misurazione della spinta dei due motori sono state utilizzate due celle di carico a bottone con diverso fondoscala. Questi dispositivi funzionano solo a compressione. Un elemento solidale alla struttura che sostiene il motore preme contro il bottone della cella di carico la cui deformazione prodotta genera una variazione della resistenza del circuito interno del dispositivo. Questa modificazione porta ad una variazione della tensione in uscita che viene opportunamente letta dal programma di acquisizione e convertita in forza.

Le celle di carico sono della ditta Sensotec ed il modello scelto è il 13 (Subminiature Load Cells Model 13) con i fondoscala (FS) da 1000 g (9,81N) e 10 lb (44,48 N). La cella di carico da 1000 g misura la spinta per il motore da 5 N, mentre quella da 10 lb la spinta per il motore da 25 N. Nella seguente tabella sono descritte le caratteristiche delle due celle di carico.

Fondo scala (FS)	1000 g	10 lb
Deflessione @ FS (10^{-3} in)	0.05	0.4
Capacità di sovraccarico statico	500% FS	
Peso	1.1 g	
Errore		
Non linearità/ isteresi (max)	$\pm 0.5\%$ FS	
Non ripetibilità (max)	$\pm 0.1\%$ FS	
Stabilità di Zero	$\pm 0.3\%$ FS	

Tabella 3.2 Caratteristiche delle celle di carico

L'errore massimo nella misurazione della spinta che si arriva ad avere è dell'1,76% per il motore da 5 N e dell'1,60% per il motore da 25 N.

L'alimentazione richiesta per il funzionamento delle celle di carico è di 5 V in tensione continua.

3.15 Pannello di controllo delle valvole

Il pannello di controllo per le valvole ha la funzione di rendere manuale o automatico il funzionamento delle valvole. Gli interruttori possono assumere tre posizioni: spento, manuale e automatico. Nella posizione "automatico" le valvole vengono controllate da remoto tramite personal computer e possono essere avviate delle procedure automatiche che attivano in sequenza l'apertura o la chiusura di più valvole secondo l'operazione che si vuole eseguire, come pulitura linee, riempimento linee, svuotamento serbatoio e spari.

La posizione "manuale" permette all'operatore di gestire manualmente le valvole tramite gli interruttori stessi del pannello.

Nella posizione "spento" la valvola non ha input elettrico e quindi rimane nella posizione di default che per le valvole della Conbraco è quella di chiusa mentre per le valvole della Swagelok è quella di aperta.

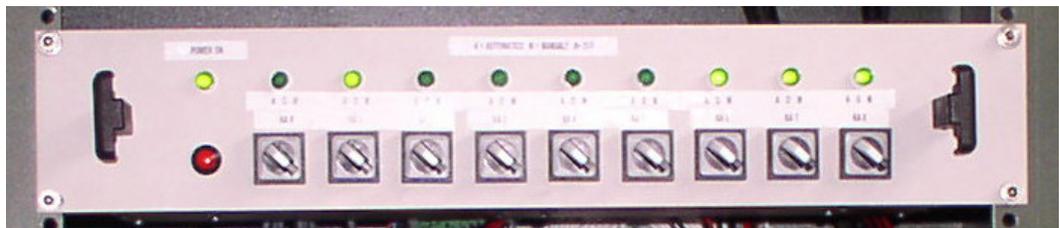


Figura 3.31 Pannello di controllo per le valvole

3.16 Alimentazione

Alcuni degli elementi descritti in questo capitolo necessitano di un'alimentazione elettrica. Il flussimetro viene alimentato collegandolo alla comune rete elettrica a 220 V in corrente alternata.

Altri elementi che richiedono alimentazione sono i trasduttori di pressione assoluta, di pressione differenziale, le celle di carico, le valvole a sfera della Swagelok e della Conbraco e la valvola di sparo. Le richieste degli apparecchi che devono essere alimentati in contemporanea sono riassunte nella tabella seguente:

Numero	Elemento	Tensione di alimentazione
4	Trasduttore di pressione assoluti	10 V
1	Trasduttore di pressione differenziale	24 V due alimentazioni
1	Cella di carico	5 V
5	Valvole a sfera Conbraco	12 V
3	Valvole a sfera Swagelok	12 V
1	Valvola di sparo Era-Sib	12 V

Tabella 3.3 Tabella riassuntiva alimentazione componenti

Per tutti questi elementi la scelta è caduta su un alimentatore che, collegato alla rete elettrica a 220 V, può fornire più tensioni differenti. Le uscite dell'alimentatore vengono regolate per fornire ad ogni utenza la giusta alimentazione richiesta per il corretto funzionamento.